

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-307413

(43)公開日 平成11年(1999)11月5日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 01 L 21/02  
21/265  
27/12

識別記号

F I

H 01 L 21/02  
27/12  
21/265

Z  
B  
Q

(21)出願番号

特願平10-131351

(22)出願日

平成10年(1998)4月23日

審査請求 未請求 請求項の数11 F D (全 13 頁)

(71)出願人 000190149

信越半導体株式会社

東京都千代田区丸の内1丁目4番2号

(71)出願人 591037498

長野電子工業株式会社

長野県更埴市大字屋代1393番地

(72)発明者 桑原 登

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半導体株式会社半導体磯部研究所内

(72)発明者 三谷 清

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半導体株式会社半導体磯部研究所内

(74)代理人 弁理士 好宮 幹夫

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 剥離ウエーハを再利用する方法および再利用に供されるシリコンウエーハ

(57)【要約】

【課題】 水素イオン剥離法において副生した剥離ウエーハに、適切な再処理を施して、実際にシリコンウエーハとして再利用することができる方法を提供し、特に剥離ウエーハの再処理における取り代を減少させ、エピタキシャルウエーハのように高価なウエーハを何回も再処理して、何度も再利用することができる方法を提供することによって、実際に高品質のSOI層を有するSOIウエーハの生産性の向上と、コストダウンを図る。

【解決手段】 水素イオン剥離法によってSOIウエーハを製造する際に副生される剥離ウエーハに、再処理を加えてシリコンウエーハとして再利用する方法において、前記再処理として少なくとも剥離ウエーハに周辺の段差を除去する研磨と、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を行うことを特徴とする剥離ウエーハを再利用する方法、およびこの方法で再処理された再利用に供されるシリコンウエーハ。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 水素イオン剥離法によってSOIウエーハを製造する際に副生される剥離ウエーハに、再処理を加えてシリコンウエーハとして再利用する方法において、前記再処理として少なくとも剥離ウエーハに周辺の段差を除去する研磨と、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を行うことを特徴とする剥離ウエーハを再利用する方法。

【請求項2】 ボンドウエーハとしてエピタキシャルウエーハを用いて水素イオン剥離法によってSOIウエーハを製造する際に副生される剥離ウエーハに、再処理を加えてシリコンウエーハとして再利用する方法において、前記再処理として少なくとも剥離ウエーハに周辺の段差を除去する研磨と、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を行うことを特徴とする剥離ウエーハを再利用する方法。

【請求項3】 ボンドウエーハとしてCZウエーハを用いて水素イオン剥離法によってSOIウエーハを製造する際に副生される剥離ウエーハに、再処理を加えてシリコンウエーハとして再利用する方法において、前記再処理として少なくとも剥離ウエーハに周辺の段差を除去する研磨と、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を行うことを特徴とする剥離ウエーハを再利用する方法。

【請求項4】 ボンドウエーハとしてFZウエーハを用いて水素イオン剥離法によってSOIウエーハを製造する際に副生される剥離ウエーハに、再処理を加えてシリコンウエーハとして再利用する方法において、前記再処理として少なくとも剥離ウエーハに周辺の段差を除去する研磨と、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を行うことを特徴とする剥離ウエーハを再利用する方法。

【請求項5】 前記再処理として、周辺の段差を除去する研磨前に、表面酸化膜を除去することを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の剥離ウエーハを再利用する方法。

【請求項6】 前記再処理として、周辺の段差を除去する研磨における取り代を、1~2ミクロンとすることを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれか1項に記載の剥離ウエーハを再利用する方法。

【請求項7】 前記再処理として、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を、1000°C~シリコンの融点以下の温度範囲で、6時間以下を行うことを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれか1項に記載の剥離ウエーハを再利用する方法。

【請求項8】 前記再処理として、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を、急速加熱・急速冷却装置を用いて、1000°C~シリコンの融点以下の温度範囲で、1~300秒間行うことを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれか1項に記載の剥離ウエーハを再利用する方法。

【請求項9】 前記再処理として、水素を含む還元性雰

囲気下の熱処理を、水素100%雰囲気または水素とアルゴンとの混合雰囲気で行うことを特徴とする請求項1ないし請求項8のいずれか1項に記載の剥離ウエーハを再利用する方法。

【請求項10】 前記請求項1ないし請求項9のいずれか1項に記載の方法で再処理された剥離ウエーハを、SOIウエーハのボンドウエーハとして再利用することを特徴とする剥離ウエーハを再利用する方法。

【請求項11】 前記請求項1ないし請求項10のいずれか1項に記載の方法で再処理されたことを特徴とする再利用に供されるシリコンウエーハ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、イオン注入したウエーハを結合後に剥離してSOI (silicon on insulator) ウエーハを製造する、いわゆる水素イオン剥離法（スマートカット法とも呼ばれている）において、副生される剥離ウエーハに再処理を加えてシリコンウエーハとして再利用する方法に関する。特に本発明は、剥離ウエーハを何回も再処理して、何度も再利用する方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、SOI構造のウエーハの作製法としては、酸素イオンをシリコン単結晶に高濃度で打ち込んだ後に、高温で熱処理を行い酸化膜を形成するSIMOX (separation by implanted oxygen) 法によるものと、2枚の鏡面研磨したシリコンウエーハを接着剤を用いることなく結合し、片方のウエーハを薄膜化する結合法が注目されている技術である。

【0003】SIMOX法は、デバイス活性領域となるSOI層の膜厚を、酸素イオン打ち込み時の加速電圧で決定、制御するために、薄層でかつ膜厚均一性の高いSOI層を容易に得る事ができる利点があるが、埋め込み酸化膜の信頼性や、SOI層の結晶性、1300°C以上の温度での熱処理が必要である等問題が多い。

【0004】一方、ウエーハ結合法は、単結晶のシリコン鏡面ウエーハ2枚のうち少なくとも一方に酸化膜を形成し、接着剤を用いずに接合し、次いで熱処理（通常は1100°C~1200°C）を加えることで結合を強化し、その後片方のウエーハを研削や湿式エッティングにより薄膜化した後、薄膜の表面を鏡面研磨してSOI層を形成するものであるので、埋め込み酸化膜の信頼性が高くSOI層の結晶性も良好であるという利点がある。

【0005】しかし、機械的な加工により薄膜化しているため、薄膜化するのに大変な時間がかかる上に、片方のウエーハは粉等となって消失してしまうので、生産性が低く、著しいコスト高となってしまう。しかも、機械加工による研削・研磨では得られるSOI層の膜厚およびその均一性にも限界があるという欠点がある。

【0006】その上、結合法において用いられるシリコ

ンウエーハは、チョクランスキ法 (CZ法) によって作製されたCZウエーハが用いられる場合が多いが、近年このCZウエーハには結晶成長時に導入されたCOP (Crystal Originated Particle) と称される結晶欠陥が存在することが判明している。したがって、CZウエーハをデバイス活性層となるボンドウエーハに用いるとSOI層にもCOPが存在し、近年要求される極薄のSOI層ではCOPがSOI層を貫通してピンホールを形成し、電気特性を著しく悪化させることができた。

【0007】これに対して、例えばCZウエーハにエピタキシャル層を成長させた後、このエピタキシャル層側を結合して、その後基台となるシリコンウエーハを研削・研磨して薄膜化しエピタキシャル層をSOI層とする方法が提案されている（特開平7-254689号参照）。この方法では、前記COP等の結晶欠陥は確実に消滅させることができるが、高価なエピタキシャルウエーハを用いるのでSOIウエーハの製造コストの一層の上昇を招いてしまう。

【0008】また、FZウエーハを用いれば、FZウエーハには酸素が含まれていないので、酸素に起因した欠陥や前記COPの問題はなくなる。しかし、結合法では、2枚のシリコンウエーハから1枚のSOIウエーハを得ることしかできず、コスト高となることに変わりがない。

【0009】尚、上記ウエーハ結合法は、シリコンウエーハ同士を結合する場合のみならず、シリコンウエーハとSiO<sub>2</sub>、SiC、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等の絶縁性ウエーハと直接結合してSOI層を形成する場合もある。

【0010】一方、最近、SOIウエーハの製造方法として、イオン注入したウエーハを結合後に剥離してSOIウエーハを製造する方法（水素イオン剥離法：スマートカット法と呼ばれる技術）が新たに注目され始めている。この方法は、二枚のシリコンウエーハのうち、少なくとも一方に酸化膜を形成すると共に、一方のシリコンウエーハの上面から水素イオンまたは希ガスイオンを注入し、該ウエーハ内部に微小気泡層（封入層）を形成させた後、該イオンを注入した方の面を酸化膜を介して他方のシリコンウエーハと密着させ、その後熱処理を加えて微小気泡層を劈開面として一方のウエーハを薄膜状に剥離し、さらに熱処理を加えて強固に結合してSOIウエーハとする技術（特開平5-211128号参照）である。この方法では、劈開面は良好な鏡面であり、SOI層の膜厚の均一性も高いSOIウエーハが比較的容易に得られている。

【0011】そして、この水素イオン剥離法においても、シリコンウエーハ同士を結合する場合のみならず、シリコンウエーハにイオン注入して、これとSiO<sub>2</sub>、SiC、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等の絶縁性ウエーハと直接結合してSOI層を形成する場合もある。

## 【0012】

【発明が解決しようとする課題】このような水素イオン剥離法でSOIウエーハを作製すると、必然的に1枚のシリコンの剥離ウエーハが副生されることになる。従来、水素イオン剥離法においては、この副生した剥離ウエーハを再利用することによって、実質上1枚のシリコンウエーハから1枚のSOIウエーハを得ることができるので、コストを大幅に下げることができるとしていた。

【0013】ところが、このような剥離ウエーハの再利用は、概念としてはあるものの、実際に再利用した例はなく、具体的にどのようにして再利用すればよいのか不明であった。特に、本発明者らの調査では、剥離ウエーハはそのままでは、通常のシリコン鏡面ウエーハとして使用できるようなものではなく、ウエーハ周辺に段差があったり、表面にイオン注入によるダメージ層が存在したり、表面粗さが大きかったりするものであることがわかった。したがって、剥離ウエーハをシリコンウエーハとして再利用するためには、このような周辺の段差や、ダメージ層等を除去する必要がある。

【0014】この場合、このような周辺の段差や、ダメージ層、あるいは表面粗さ等を除去するには、剥離ウエーハの表面を研削して、その後研磨することが考えられる。しかし、研削、研磨によつたのでは、時間がかかる上に、取り代が多く、例えば、水素イオン剥離法においてボンドウエーハとしてエピタキシャルウエーハを用い、SOI層をエピタキシャル層とする場合、剥離ウエーハに残ったエピタキシャル層が全部除去されてしまい、エピタキシャル層をSOI層として再利用することができなくなるため、SOIウエーハの作製コストが高いことに変わりが無くなってしまう。

【0015】また、ボンドウエーハとしてCZウエーハを用いた場合においては、研削、研磨では、前記COPの問題ははら解決されることになるし、ボンドウエーハとしてFZウエーハを用いた場合には、研削、研磨の取り代が多いと、再利用できる回数が少なくなってしまう上、時間がかかりコスト高となることに変わりがない。

【0016】そこで、本発明はこのような問題点に鑑みなされたもので、水素イオン剥離法において副生した剥離ウエーハに、適切な再処理を施して、実際にシリコンウエーハとして再利用することができる方法を提供することを目的とし、特に剥離ウエーハの再処理における取り代を減少させ、エピタキシャルウエーハのように高価なウエーハを何回も再処理して、何度も再利用することができる方法を提供することによって、実際に高品質のSOI層を有するSOIウエーハの生産性の向上と、コストダウンを図ることを目的とする。

## 【0017】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため

本発明の請求項1に記載した発明は、水素イオン剥離法によってSOIウエーハを製造する際に副生される剥離ウエーハに、再処理を加えてシリコンウエーハとして再利用する方法において、前記再処理として少なくとも剥離ウエーハに周辺の段差を除去する研磨と、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を行うことを特徴とする剥離ウエーハを再利用する方法である。

【0018】このように、水素イオン剥離法で副生した剥離ウエーハには周辺に段差があることが判明した。そこで、本発明では剥離ウエーハの再処理として、周辺の段差を研磨することによって除去することにした。剥離ウエーハの周辺の段差を研磨により除去するようすれば、簡単に周辺の段差を除去できるとともに、剥離ウエーハ表面のダメージ層の除去および表面粗さの改善も同時にできる。一方、原則として研磨はこの周辺の段差を除去するために必要な取り代にとどめておき、残留する表面のダメージ層、表面粗さは、剥離ウエーハを水素を含む還元性雰囲気下で熱処理することによって除去することができる。

【0019】また、本発明の請求項2に記載した発明は、ボンドウエーハとしてエピタキシャルウエーハを用いて水素イオン剥離法によってSOIウエーハを製造する際に副生される剥離ウエーハに、再処理を加えてシリコンウエーハとして再利用する方法において、前記再処理として少なくとも剥離ウエーハに周辺の段差を除去する研磨と、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を行うことを特徴とする剥離ウエーハを再利用する方法である。

【0020】このように本発明では、剥離ウエーハの取り代を必要最小限にして再処理することができるので、高価なエピタキシャルウエーハのエピタキシャル層を何度も再処理して再利用することが可能となり、高品質SOIウエーハを低成本で得ることができる。

【0021】また、本発明の請求項3に記載した発明は、ボンドウエーハとしてCZウエーハを用いて水素イオン剥離法によってSOIウエーハを製造する際に副生される剥離ウエーハに、再処理を加えてシリコンウエーハとして再利用する方法において、前記再処理として少なくとも剥離ウエーハに周辺の段差を除去する研磨と、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を行うことを特徴とする剥離ウエーハを再利用する方法である。

【0022】このように、本発明では、剥離ウエーハに水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を施すので、剥離ウエーハ表面に存在するダメージ層および表面粗さが改善されると共に、CZウエーハ中のCOPの改善も図られる。したがって、水素イオン剥離法においてボンドウエーハにCZウエーハを用い、剥離ウエーハがCZウエーハである場合に、剥離ウエーハ中のCOPをも改善された再利用ウエーハを得ることができる。

【0023】本発明の請求項4に記載した発明は、ボンドウエーハとしてFZウエーハを用いて水素イオン剥離

法によってSOIウエーハを製造する際に副生される剥離ウエーハに、再処理を加えてシリコンウエーハとして再利用する方法において、前記再処理として少なくとも剥離ウエーハに周辺の段差を除去する研磨と、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を行うことを特徴とする剥離ウエーハを再利用する方法である。

【0024】このように本発明では、剥離ウエーハの取り代を必要最小限にして再処理することができるので、COPのないFZウエーハを何度も再処理して再利用することが可能となり、高品質SOIウエーハを低成本で得ることができる。

【0025】また、請求項5に記載したように、剥離ウエーハの再処理として、周辺の段差を除去する研磨前に、表面酸化膜を除去するのが好ましい。このように、周辺の段差を除去する研磨前に、表面酸化膜を除去しておけば、均一に研磨をすることができる。すなわち、周辺の段差部に酸化膜が付着していると、より大きな段差となる上に、酸化膜はシリコンと硬度が異なるため、研磨において均一に研磨するのが難しくなるからである。

【0026】そして、本発明の請求項6に記載した発明は、剥離ウエーハの再処理として、周辺の段差を除去する研磨における取り代を、1～2ミクロンとすることを特徴とする剥離ウエーハを再利用する方法である。このような取り代であれば、周辺の段差を確実に除去できるとともに、除去量が少ないので、例えボンドウエーハをエピタキシャルウエーハとした場合であっても、何度も剥離ウエーハを再処理しエピタキシャル層をSOI層とすることが可能となる。

【0027】次に、本発明の請求項7に記載したように、剥離ウエーハの再処理として、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を、1000℃～シリコンの融点以下の温度範囲で、6時間以下行うのが好ましい。このような条件の高温長時間熱処理をすれば、確実に剥離ウエーハの表面ダメージ層および表面粗さを除去することができる。また、この水素を含む還元性雰囲気下の熱処理は通常の抵抗加熱方式の熱処理炉を用いて行うことができる。

【0028】また、本発明の請求項8に記載したように、剥離ウエーハの再処理として、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を、急速加熱・急速冷却装置を用いて、1000℃～シリコンの融点以下の温度範囲で、1～300秒間行うようにすることができる。このように、剥離ウエーハに急速加熱・急速冷却装置を用いて水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を施せば、極めて短時間で効率よく剥離ウエーハ表面のダメージ層および表面粗さを改善することができる。

【0029】この場合、請求項9に記載したように、剥離ウエーハの再処理として、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を、水素100%雰囲気または水素とアルゴンとの混合雰囲気で行うことができる。このような熱処理

雰囲気とすれば、確実に剥離ウエーハの表面を改善することができる。

【0030】このように、本発明で再処理された剥離ウエーハは、周辺の段差が除去され、かつダメージ層および表面粗さも除去されている良好な品質であるので種々のシリコンウエーハとして使用することができる。特に、研磨取り代が少ないので、請求項10に記載したように、SOIウエーハのボンドウエーハとして再利用することができ、これによって何度も剥離ウエーハをSOIウエーハの作製に再利用することが可能となる。

【0031】そして、本発明の請求項11に記載した発明は、請求項1ないし請求項10のいずれか1項に記載の方法で再処理されたことを特徴とする再利用に供されるシリコンウエーハである。上述のように、本発明で再処理された剥離ウエーハは、シリコンウエーハとして再利用できるウエーハとなる。特に本発明の再処理では取り代が極めて少ないので、水素イオン剥離法において予め用いる剥離される側のウエーハの厚さを調整する必要が必ずしもなく、極めて簡単かつ便利に再利用が可能である。

### 【0032】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。ここで、図1は水素イオン剥離法でSOIウエーハを製造する方法によるSOIウエーハの製造工程の一例を示すフロー図である。また、図2は本発明の剥離ウエーハを再処理して再利用する方法の一例を示す工程フロー図である。

【0033】以下、本発明を2枚のシリコンウエーハを結合する場合を中心説明する。まず、図1の水素イオン剥離法において、工程(a)では、2枚のシリコンウエーハを準備するものであり、デバイスの仕様に合った基台となるベースウエーハ1とSOI層となるボンドウエーハ2を準備する。本実施形態では、特にボンドウエーハ2として、シリコン鏡面ウエーハ上に約10ミクロン厚のエピタキシャル層13を成長させた、エピタキシャルウエーハとした。

【0034】次に工程(b)では、そのうちの少なくとも一方のウエーハ、ここではボンドウエーハ(エピタキシャルウエーハ)2を熱酸化し、その表面に約0.1μm～2.0μm厚の酸化膜3を形成する。

【0035】工程(c)では、表面に酸化膜を形成したボンドウエーハ2のエピタキシャル層が形成されている方の面に対して水素イオンまたは希ガスイオンを注入し、イオンの平均進入深さにおいて表面に平行な微小気泡層(封入層)4を形成させるもので、この注入温度は25～450℃が好ましい。

【0036】工程(d)は、水素イオン注入したボンドウエーハ2の水素イオン注入面(エピタキシャル層側の面)に、ベースウエーハ1を酸化膜を介して重ね合せて

密着させる工程であり、常温の清浄な雰囲気下で2枚のウエーハの表面同士を接触させることにより、接着剤等を用いることなくウエーハ同士が接着する。

【0037】次に、工程(e)は、封入層4を境界として剥離することによって、剥離ウエーハ5とSOIウエーハ6(SOI層7+埋込み酸化膜3+ベースウエーハ1)に分離する剥離熱処理工程で、例えば不活性ガス雰囲気下約500℃以上の温度で熱処理を加えれば、結晶の再配列と気泡の凝集によって剥離ウエーハ5とSOIウエーハ6に分離される。この時、SOI層7は全てエピタキシャル層からなるものとなる。

【0038】そして、工程(f)では、前記工程(d)(e)の密着工程および剥離熱処理工程で密着させたウエーハ同士の結合力では、そのままデバイス工程で使用するには弱いので、結合熱処理としてSOIウエーハ6に高温の熱処理を施し結合強度を十分なものとする。この熱処理は例えば不活性ガス雰囲気下、1050℃～1200℃で30分から2時間の範囲で行なうことが好ましい。なお、工程(e)の剥離熱処理と工程(f)の結合熱処理を連続的に行なったり、また、工程(e)の剥離熱処理と工程(f)の結合熱処理を同時に兼ねるものとして行ってもよい。

【0039】次に、工程(g)は、タッチポリッシュと呼ばれる研磨代の極めて少ない鏡面研磨の工程であり、SOI層7の表面である劈開面に存在する結晶欠陥層の除去と表面粗さを除去する工程である。

【0040】以上の工程を経て結晶品質が高く、膜厚均一性の高いエピタキシャル層からなるSOI層7を有する高品質のSOIウエーハ6を製造することができる(工程(h))。

【0041】このような水素イオン剥離法においては、図1(e)工程において、剥離ウエーハ5が副生されることになる。水素イオン剥離法によって作製されるSOI層の厚さは、通常0.1～1.5ミクロン程度で、厚くても2ミクロン以下であるので、剥離ウエーハ5は充分な厚さを有する。したがって、これをシリコンウエーハとして再利用すれば、SOIウエーハの製造コストを著しく下げることが可能となる。特に、本実施形態のように、ボンドウエーハとして厚さ約10ミクロンのエピタキシャル層を有するエピタキシャルウエーハとした場合、剥離後にも剥離ウエーハ上には、約8ミクロン以上の厚さのエピタキシャル層が残ることになる。したがって、これを再度ボンドウエーハとして用いることができれば著しくエピタキシャルウエーハを用いたSOIウエーハの製造コストを低下させることができる。

【0042】ところが、図2(A)に剥離ウエーハの拡大模式図を示したように、この剥離ウエーハ5の周辺部には段差10が発生し、そのままではシリコンウエーハとして使用できないものとなることがわかった。この周辺の段差10は、ボンドウエーハの周辺部がベースウエ

一ハと結合されずに未結合となることから発生するものである。従って、この段差の高さは、SOI層の厚さと埋め込み酸化膜3の厚さを足した程度のものとなる。

【0043】また、剥離ウエーハの剥離面11には、水素イオン注入によるダメージ層12が残存し、その表面粗さも、通常の鏡面ウエーハに比べて悪いものであることがわかった。特に、局所的な表面粗さが悪く、アルカリエッティングのような選択性のあるエッティングを施すと、深いピットが形成されてしまうことがわかった。

【0044】この場合、このような周辺の段差、ダメージ層、表面粗さは、研削、研磨をすることにより、全て削り落してしまうことが考えられる。しかし、それでは取り代が多くなってしまい、時間がかかる上に、そもそも本実施形態のように、エピタキシャルウエーハをボンドウエーハとしている場合、エピタキシャル層が全部削り取られてしまうことになり、エピタキシャル層をSOI層として再利用することが不可能になる。

【0045】そこで、本発明者らは、上記のような問題を解決すべく、水素イオン剥離法において副生した剥離ウエーハに、適切な再処理を施して、実際にシリコンウエーハとして再利用する方法を検討した結果本発明に到了るものである。特に、本発明では剥離ウエーハの再処理における取り代を減少させ、上記エピタキシャルウエーハのように高品質ではあるが高価なウエーハを何回も再処理して、何度も再利用することができる方法を検討した。

【0046】すなわち、まず本発明では、水素イオン剥離法によってSOIウエーハを製造する際に副生される剥離ウエーハに生じる周辺の段差を、わずかに研磨することにより除去するようにした。

【0047】このように、剥離ウエーハの周辺の段差を研磨により除去するようにすれば、簡単に周辺の段差を除去できる。例えば、SOI層の厚さが0.2ミクロンである場合には、1ミクロン程度の研磨代で完全に段差を除去することができるし、より厚いSOI層の場合でも2ミクロンも研磨すれば周辺の段差は除去できる。しかも、研磨により周辺の段差を除去する際に、同時に剥離ウエーハ表面のダメージ層の除去および表面粗さのある程度の改善もできる。

【0048】また、本発明においては、剥離ウエーハの再処理として、周辺の段差を除去する研磨前に、表面酸化膜3を除去するのが好ましい。これは、周辺の段差10を除去する研磨前に、表面酸化膜3を除去しておく方が均一に研磨ができるからである。すなわち、周辺の段差部10に酸化膜3が付着していると、段差が一段と高いものとなるし、酸化膜はシリコンと硬度が異なるため、剥離ウエーハ面内が均一に研磨され難くなるからである。酸化膜の除去は、剥離ウエーハをフッ酸中に浸漬することによって簡単に行うことができる。

【0049】次に、剥離ウエーハの再処理として、表面

粗さの完全な回復のため、周辺段差を除去する研磨後、仕上げ研磨をしたのでは取り代が増加してしまうので、本発明では、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を剥離ウエーハに加えることで、表面のダメージ層および表面粗さを改善する。熱処理によれば、剥離ウエーハの厚さを減少させずにダメージ層、表面粗さの改善をすることができ、再処理における取り代を、原則として周辺の段差を除去するために必要な取り代にとどめることができる。

【0050】この場合、本発明の周辺の段差を除去する研磨と、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理は、いずれを先に行っても良い。周辺の段差を除去してから熱処理をする方が、表面のダメージ層および表面粗さをある程度除去してから熱処理することになるので、より確実にダメージ層等を除去できるし、表面粗さも良好なものとなるが、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理をしてから周辺の段差除去研磨をしてもかまわない。

【0051】そして、本発明の水素を含む還元性雰囲気下の熱処理は、例えば1000℃～シリコンの融点以下、より好ましくは1200℃～1350℃の温度範囲で、6時間以下行うのが好ましい。このような条件の高温長時間熱処理をすれば、どのような形式の熱処理炉を用いても確実に剥離ウエーハの表面にあるダメージ層および表面粗さを除去することができる。1200℃以上の高温であると特に効率的にダメージ層、表面粗さを改善でき熱処理時間を短縮することができるが、1350℃を越えて熱処理をすると炉の耐久性や、ウエーハ汚染の問題が生じるので、1200℃～1350℃の範囲とするのがよい。

【0052】また、上記のように通常の熱処理炉を用いたのでは時間がかかるので、本発明では、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を、急速加熱・急速冷却装置を用いて、1000℃～シリコンの融点以下の温度範囲で、1～300秒間行うようにすることができる。このように、剥離ウエーハに急速加熱・急速冷却装置を用いて水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を施せば、極めて短時間で効率よく剥離ウエーハ表面のダメージ層および表面粗さを改善することができる。この場合も、上記と同様に、1200～1350℃の温度範囲とするのがより効果的である。

【0053】このような、本発明で用いられる、剥離ウエーハを急速加熱・急速冷却できる装置としては、熱放射によるランプ加熱器のような装置を挙げることができる。また、市販されているものとして、例えばAST社製、SHS-2800のような装置を挙げることができ、これらは特別複雑で高価なものではない。

【0054】ここで、本発明で用いた剥離ウエーハを急速加熱・急速冷却できる装置の一例を示す。図6は、急速加熱・急速冷却できる装置の概略断面図である。図6の熱処理装置20は、例えば炭化珪素あるいは石英から

なるベルジャ21を有し、このベルジャ21内でウエーハを熱処理するようになっている。加熱は、ベルジャ21を回旋するように配置される加熱ヒータ22, 22'によって行う。この加熱ヒータは上下方向で分割されており、それぞれ独立に供給される電力を制御できるようになっている。もちろん加熱方式は、これに限定されるものではなく、いわゆる輻射加熱、高周波加熱方式としてもよい。加熱ヒータ22, 22'の外側には、熱を遮蔽するためのハウジング23が配置されている。

【0055】炉の下方には、水冷チャンバ24とベースプレート25が配置され、ベルジャ21内と、大気とを封鎖している。そして剥離ウエーハ28はステージ27上に保持されるようになっており、ステージ27はモータ29によって上下動自在な支持軸26の上端に取りつけられている。水冷チャンバ24には横方向からウエーハを炉内に出し入れできるように、ゲートバルブによって開閉可能に構成される不図示のウエーハ挿入口が設けられている。また、ベースプレート25には、ガス流入口と排気口が設けられており、炉内ガス雰囲気を調整できるようになっている。

【0056】以上のような熱処理装置20によって、剥離ウエーハの急速加熱・急速冷却する熱処理は次のように行われる。まず、加熱ヒータ22, 22'によってベルジャ21内を、例えば1000°C～シリコンの融点以下の所望温度に加熱し、その温度に保持する。分割された加熱ヒータそれぞれを独立して供給電力を制御すれば、ベルジャ21内を高さ方向に沿って温度分布をつけることができる。したがって、ウエーハの処理温度は、ステージ27の位置、すなわち支持軸26の炉内への挿入量によって決定することができる。熱処理雰囲気は、ベースプレートのガス流入口より水素を含む還元性ガスを導入するようにする。

【0057】ベルジャ21内が所望温度で維持されたなら、熱処理装置20に隣接して配置される、不図示のウエーハハンドリング装置によって剥離ウエーハを水冷チャンバ24の挿入口から入れ、最下端位置で待機せたステージ27上に例えばSICポートを介してウエーハを乗せる。この時、水冷チャンバ24およびベースプレート25は水冷されているので、ウエーハはこの位置では高温化しない。

【0058】そして、剥離ウエーハのステージ27上への載置が完了したなら、すぐにモータ29によって支持軸26を炉内に挿入することによって、ステージ27を1000°C～シリコンの融点以下の所望温度位置まで上昇させ、ステージ上の剥離ウエーハに高温熱処理を加える。この場合、水冷チャンバ24内のステージ下端位置から、所望温度位置までの移動には、例えば20秒程度しかかかるないので、剥離ウエーハは急速加熱されることになる。

【0059】そして、ステージ27を所望温度位置で、

所定時間停止(1～300秒)させることによって、剥離ウエーハに還元性雰囲気下、停止時間分の高温熱処理を加えることができる。所定時間が経過し高温熱処理が終了したなら、すぐにモータ29によって支持軸26を炉内から引き抜くことによって、ステージ27を下降させ水冷チャンバ24内の下端位置とする。この下降動作も、例えば20秒程度で行うことができる。ステージ27上の剥離ウエーハは、水冷チャンバ24およびベースプレート25が水冷されているので、急速に冷却される。最後に、ウエーハハンドリング装置によって、剥離ウエーハを取り出すことによって、熱処理を完了する。さらに熱処理する剥離ウエーハがある場合には、熱処理装置20の温度を降温させてないので、次々にウエーハを投入し連続的に熱処理をすることができる。

【0060】この場合、本発明の水素を含む還元性雰囲気下の熱処理の雰囲気としては、水素100%雰囲気または水素とアルゴンとの混合雰囲気で行うことができる。このような熱処理雰囲気とすれば、剥離ウエーハ表面に害となるような被膜を形成することもなく、確実に剥離ウエーハの表面のダメージ層、表面粗さを改善することができるからである。

【0061】こうして、剥離ウエーハ周辺部にある段差、剥離面にある水素イオン注入によるダメージ層、および剥離面の表面粗さを除去することができ、通常の鏡面ウエーハに比べ何の遜色もない表面を持つ再利用ウエーハを得ることができる。特に、本発明では、剥離ウエーハの厚さを、1ミクロン以下あるいは多くても2ミクロン以下しか薄くしないで済むので、そのままボンドウエーハとして再利用することができる。

【0062】すなわち、例えば、ボンドウエーハとしてエピタキシャルウエーハを用いて水素イオン剥離法によってSOIウエーハを製造し、副生された剥離ウエーハに、本発明の再処理を加えてエピタキシャルウエーハを再生すれば、これを更にボンドウエーハとして再利用することができる。高価なエピタキシャルウエーハのエピタキシャル層を何度も再処理してSOI層にすることが可能となり、高品質SOIウエーハを低成本で得ることができる。

【0063】また、ボンドウエーハとしてCZウエーハを用いて水素イオン剥離法によってSOIウエーハを製造し、副生された剥離ウエーハに、本発明の再処理を加えてシリコンウエーハとすれば、得られたウエーハには、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理が施されているので、ダメージ層、表面粗さの改善が図られているとともに、CZウエーハ中のCOPの改善も図られることがある。したがって、水素イオン剥離法においてボンドウエーハにCZウエーハを用い、剥離ウエーハがCZウエーハである場合には、剥離ウエーハ中のCOPをも改善された再利用ウエーハを得ることができる。

【0064】また、ボンドウエーハとしてFZウエーハ

を用いて水素イオン剥離法によってSOIウエーハを製造し、副生された剥離ウエーハに、本発明の再処理を加えてシリコンウエーハとすれば、剥離ウエーハの取り代を必要最小限にすることができるので、COPのないEZウエーハを何度も再処理して再利用することが可能となり、高品質SOIウエーハを低成本で得ることができる。

【0065】こうして、本発明の方法によって再処理されたシリコンウエーハは、上記のように再度ボンドウエーハとして用いても良いが、ベースウエーハとして用いても良いし、通常のシリコン鏡面ウエーハとして用いても良いことは言うまでもなく、特にその再利用の用途は限定されるものではない。特にボンドウエーハをエピタキシャルウエーハとした場合に、得られる剥離ウエーハ

- 1) 埋込み酸化膜厚: 400 nm (0.4ミクロン)、
- 2) 水素注入条件: H<sup>+</sup>イオン、注入エネルギー 69 keV  
注入線量  $5.5 \times 10^{16} / \text{cm}^2$
- 3) 剥離熱処理条件: N<sub>2</sub>ガス雰囲気下、500°C × 30分
- 4) 結合熱処理条件: N<sub>2</sub>ガス雰囲気下、1100°C × 2時間

【0067】こうして厚さ0.2ミクロンのエピタキシャル層をSOI層とする高品質のSOIウエーハを作製することができたが、図1の工程(e)で剥離ウエーハ5が副生された。この剥離ウエーハを図2の工程(A)～(F)にしたがい再処理を加えて、ボンドウエーハとして再利用することにした。

【0068】まず、図2(A)の、未処理の剥離ウエーハ5の周辺形状を、触針式粗さ計でスキャンすることによって測定した。その測定結果を図3(A)に示した。この図から明らかであるように、剥離ウエーハ5の周辺部には貼り合わせ時に周辺で未結合となった部分に起因する段差10が生じている。そして、その周辺の段差10の高さは、SOI層の厚さ(0.2ミクロン)と酸化膜の厚さ(0.4ミクロン)を加えた値程度以上となることがわかる。

【0069】また、図2(A)の、未処理の剥離ウエーハ5の剥離面11の表面粗さを位相シフト干渉法により250ミクロン角で測定し、原子間力顕微鏡法により1ミクロン角で測定したところ、それぞれRMS値(自乗平均平方根粗さ)で、平均0.40 nmと7.4 nmであった。この値は、通常の鏡面研磨されたシリコンウエーハの表面粗さより非常に悪い値であり、特に1ミクロン角での値は通常の10倍以上の値で、剥離面は局部的な面粗れが大きいことがわかる。

【0070】また、図2(A)の、未処理の剥離ウエーハ5の剥離面11のダメージ層の深さを測定するため、KOH水溶液によるエッティングを行い、表面からのエッティング除去量を変えた剥離ウエーハを準備した。そして、これらのウエーハに1100°C、1時間のパイロジエニック酸化を行い、フッ酸水溶液により表面に形成された酸化膜を除去した後、Seccoエッティング液を用

を通常のエピタキシャルウエーハとして用いても差し支えないものである。

#### 【0066】

【実施例】以下、本発明の実施例を挙げて具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

(実施例) 導電型がp型で抵抗率が1.0～2.0Ωcm、直径が150mmのシリコン鏡面ウエーハを2枚準備し、一方のウエーハには厚さ約10ミクロンのエピタキシャル層を成長させた。このエピタキシャルウエーハをボンドウエーハとして用い、図1(a)～(h)に示す工程に従った水素イオン剥離法によりSOIウエーハを製造した。SOI層の厚さは0.2ミクロンとし、その他イオン注入等の主な条件は次の通りである。

- 1) 埋込み酸化膜厚: 400 nm (0.4ミクロン)、
- 2) 水素注入条件: H<sup>+</sup>イオン、注入エネルギー 69 keV  
注入線量  $5.5 \times 10^{16} / \text{cm}^2$
- 3) 剥離熱処理条件: N<sub>2</sub>ガス雰囲気下、500°C × 30分
- 4) 結合熱処理条件: N<sub>2</sub>ガス雰囲気下、1100°C × 2時間

【0067】こうして厚さ0.2ミクロンのエピタキシャル層をSOI層とする高品質のSOIウエーハを作製することができたが、図1の工程(e)で剥離ウエーハ5が副生された。この剥離ウエーハを図2の工程(A)～(F)にしたがい再処理を加えて、ボンドウエーハとして再利用することにした。

【0068】まず、図2(A)の、未処理の剥離ウエーハ5の周辺形状を、触針式粗さ計でスキャンすることによって測定した。その測定結果を図3(A)に示した。この図から明らかであるように、剥離ウエーハ5の周辺部には貼り合わせ時に周辺で未結合となった部分に起因する段差10が生じている。そして、その周辺の段差10の高さは、SOI層の厚さ(0.2ミクロン)と酸化膜の厚さ(0.4ミクロン)を加えた値程度以上となることがわかる。

【0069】また、図2(A)の、未処理の剥離ウエーハ5の剥離面11の表面粗さを位相シフト干渉法により250ミクロン角で測定し、原子間力顕微鏡法により1ミクロン角で測定したところ、それぞれRMS値(自乗平均平方根粗さ)で、平均0.40 nmと7.4 nmであった。この値は、通常の鏡面研磨されたシリコンウエーハの表面粗さより非常に悪い値であり、特に1ミクロン角での値は通常の10倍以上の値で、剥離面は局部的な面粗れが大きいことがわかる。

【0070】また、図2(A)の、未処理の剥離ウエーハ5の剥離面11のダメージ層の深さを測定するため、KOH水溶液によるエッティングを行い、表面からのエッティング除去量を変えた剥離ウエーハを準備した。そして、これらのウエーハに1100°C、1時間のパイロジエニック酸化を行い、フッ酸水溶液により表面に形成された酸化膜を除去した後、Seccoエッティング液を用

いて表面を選択エッティングし、その表面を顕微鏡観察してOSF(酸化誘起欠陥)密度を測定した。エッティング除去量は、0.25、0.50、0.75、1.00、1.50、2.00 nmとした。測定結果を、図5の曲線aに示した。

【0071】この図から、剥離ウエーハの表面には深さ約100 nmのダメージ層があることがわかる。なお、100 nmより深い所で観察されるOSFは、エピタキシャル層を形成した基板自体に存在する結晶欠陥の影響により、エピタキシャル層中にOSFの核が形成されたため発生したものと考えられる。

【0072】次に、図2(B)では、剥離ウエーハをフッ酸中に浸漬することによって、表面の酸化膜3を除去した。フッ酸は、HF 50%水溶液とした。そして、酸化膜を除去した剥離ウエーハの周辺形状を再び触針式粗さ計でスキャンすることによって測定し、その結果を図3(B)に示した。この図から明らかであるように、剥離ウエーハ5の周辺部にはSOI層の厚さ(0.2ミクロン)より若干高い段差が生じていることがわかる。

【0073】次に、図2(C)では、酸化膜除去が終了した剥離ウエーハに、周辺の段差を除去する研磨を行った。研磨は、通常のシリコンウエーハを研磨する装置および条件と同様にすればよい。本発明では、剥離ウエーハを上下定盤間に挟み込み、定盤を50 rpmで相互に逆回転しつつ、500 g/cm<sup>2</sup>の荷重をかけて、研磨面に研磨スラリーを供給しつつ、剥離面を研磨した。

【0074】この時、研磨の取り代と周辺の段差の高さとの関係を調査した結果を、図4に示した。この図から、研磨代としては1ミクロンも研磨すれば、周辺の段差は充分に除去できることがわかる。SOI層の厚さが厚く、段差の高さが高い場合には、安全を見て2ミクロンも研磨すればよい。

【0075】また、研磨代1ミクロンの周辺の段差除去研磨をした剥離ウエーハの周辺形状を再び触針式粗さ計でスキャンすることによって測定し、その結果を図3(C)に示した。この図から明らかであるように、1ミクロンの研磨で剥離ウエーハの周辺部の段差はきれいに除去されており、シリコンウエーハとして充分に再利用可能な周辺形状となっていることがわかる。

【0076】次に、図2(D)では、剥離ウエーハを汚染しないように、熱処理前洗浄をした。この洗浄は、いわゆるRCA洗浄として広く知られている、(アンモニア／過酸化水素水)、(塩酸／過酸化水素水)の2段洗浄を行った。

【0077】そして、熱処理前洗浄が終わったら、図6に示した急速加熱・急速冷却装置を用いて、剥離ウエーハに水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を施した(図2(E))。熱処理条件は、水素100%雰囲気下、1200℃で30秒間とした。

【0078】そして、急速加熱・急速冷却装置による熱処理後の剥離面の表面粗さを、位相シフト干渉法により250ミクロン角で測定し、原子間力顕微鏡法により1ミクロン角で再び測定したところ、それぞれRMS値(自乗平均平方根粗さ)で、平均0.32nmと0.21nmであった。この値は、通常の鏡面研磨されたシリコンウエーハの表面粗さと同等であり、著しい改善が図られたことがわかる。

【0079】また、急速加熱・急速冷却装置による熱処理後、酸化および選択エッチングを行い、顕微鏡観察をすることにより表面のOSF密度を測定したところ、約10ケ/cm<sup>2</sup>であり、基板からの影響を受けてエピタキシャル層に出現するOSF密度と同等であることがわかった。

【0080】このように本発明により再処理された剥離ウエーハは、再びエピタキシャルウエーハとして再利用できるものであることがわかる。そこで、本実施例では、図2(F)のように、再処理された剥離ウエーハをボンドウエーハとして用いた。すなわち、図1(a)のボンドウエーハ2として、上記再利用ウエーハを用いた。この剥離ウエーハは、周辺段差除去研磨で1ミクロン薄くしただけであるので、エピタキシャル層の厚さは、まだ約9ミクロン残っている。以後図1の工程にしたがい、水素イオン剥離法によってSOIウエーハを作製した所、問題なくエピタキシャル層をSOI層とする、高品質SOIウエーハを作製することができた。

【0081】次に、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理のダメージ層および表面粗さの改善効果を見るため、図2(B)の酸化膜除去した剥離ウエーハに、周辺の段差を除去する研磨を施すことなく、したがって剥離面にダメージ層、表面粗さを有する剥離ウエーハに、前記RCA洗浄後、図6に示した急速加熱・急速冷却装置を用いて、直接水素を含む還元性雰囲気下の熱処理を施した。

熱処理条件は、水素100%雰囲気下、1200℃で30秒間とした。

【0082】熱処理後のダメージ層の深さを測定するため、表面からのエッチング除去量を変えた剥離ウエーハに酸化および選択エッチングを行い、その表面を顕微鏡観察して、OSF密度を測定した。エッチング除去量は、0、25、50、75、100、150、200nmとした。測定結果を、図5の曲線bに示した。この図から、水素を含む還元性雰囲気下の熱処理後の剥離ウエーハの表面には、研磨を行っていないにもかかわらず、ダメージ層がなくなっていることがわかる。

【0083】また、急速加熱・急速冷却装置による熱処理後の剥離面の表面粗さを、位相シフト干渉法により250ミクロン角で測定し、原子間力顕微鏡法により1ミクロン角で測定したところ、それぞれRMS値(自乗平均平方根粗さ)で、平均0.32nmと0.21nmであった。この値は、通常の鏡面研磨されたシリコンウエーハの表面粗さと同等であり、著しい改善が図られたことがわかる。したがって、図2の工程(C)の周辺段差除去研磨と、工程(D)(E)の水素を含む還元性雰囲気下の熱処理とは、順序を入れ替えることも可能であることがわかる。

【0084】なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。上記実施形態は、例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

【0085】例えば、上記では2枚のシリコンウエーハを結合してSOIウエーハを作製する場合を中心に説明したが、本発明は、この場合に限定されるものではなく、シリコンウエーハにイオン注入後に絶縁性ウエーハと結合し、シリコンウエーハを剥離してSOIウエーハを製造する場合に副生する剥離ウエーハに再処理を加えるような場合にも当然に適用可能である。

【0086】また、本発明の剥離ウエーハの再処理工程も、図2に示したものに限定されるものではなく、この工程には、洗浄、熱処理等の他の工程が付加されることもあるし、あるいは一部工程順の入れ替え、省略等が目的に応じて適宜行うことができるものである。

#### 【0087】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、水素イオン剥離法において副生した剥離ウエーハに、適切な再処理を施して、実際にシリコンウエーハとして再利用することができるようになる。特に剥離ウエーハの再処理における取り代を減少させることができるので、エピタキシャルウエーハのように高価なウエーハを何回も再処理して、何度も再利用することができる。そして、これによって実際に高品質のSOI層を有するSOIウエーハの生産性の向上と、コストダウンを図ることができる。

## 【図面の簡単な説明】

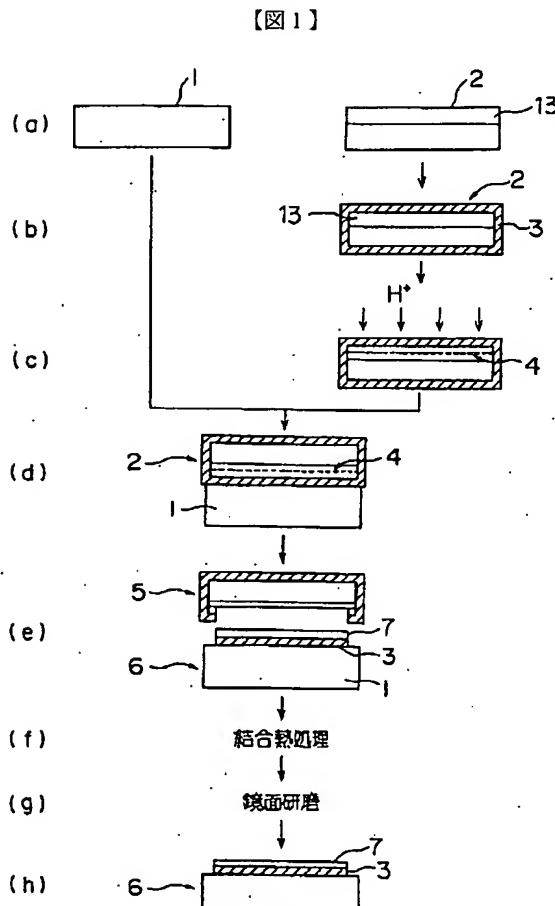
【図1】(a)～(h)は、水素イオン剥離法によるS O I ウエーハの製造工程の一例を示すフロー図である。

【図2】(A)～(F)は、実施例で採用した本発明の剥離ウエーハを再利用する方法の工程フロー図である。

【図3】剥離ウエーハの周辺の段差の測定結果図である。(A)未処理の剥離ウエーハ、(B)酸化膜除去後、(C)周辺段差除去後。

【図4】周辺段差研磨の取り代と段差の高さとの関係を調査した結果図である。

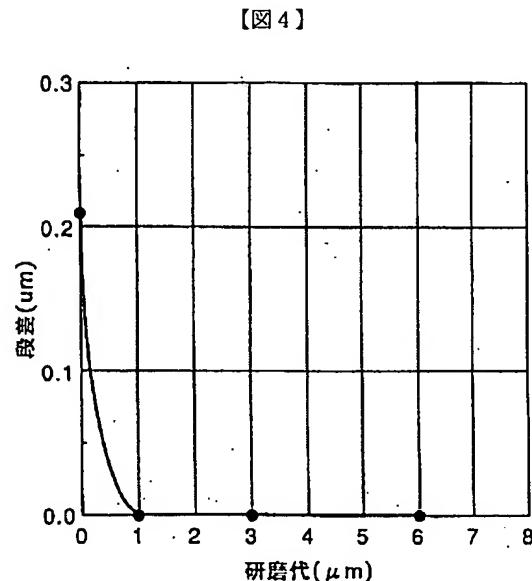
【図5】剥離ウエーハのダメージ層を測定した結果図である。



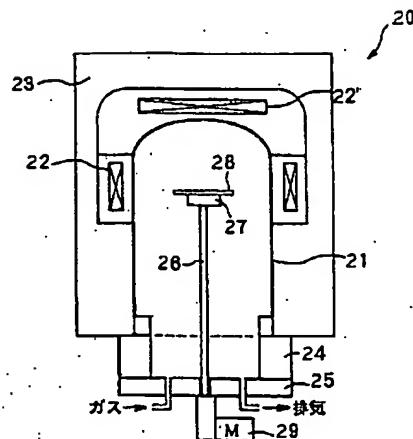
【図6】急速加熱・急速冷却装置の一例を示した、概略図である。

## 【符号の説明】

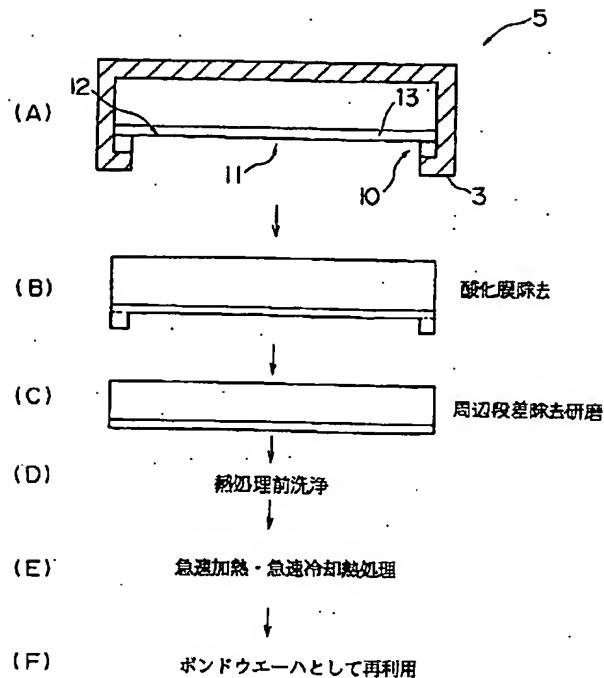
1…ベースウエーハ、2…ボンドウエーハ、3…酸化膜、4…水素イオン注入微小気泡層(封入層)、5…剥離ウエーハ、6…S O I ウエーハ、7…S O I 層、10…周辺の段差、11…剥離面、12…ダメージ層、13…エピタキシャル層、20…熱処理装置、21…ベルジャ、22, 22'…加熱ヒータ、23…ハウジング、24…水冷チャンバ、25…ベースプレート、26…支持軸、27…ステージ、28…剥離ウエーハ、29…モータ。



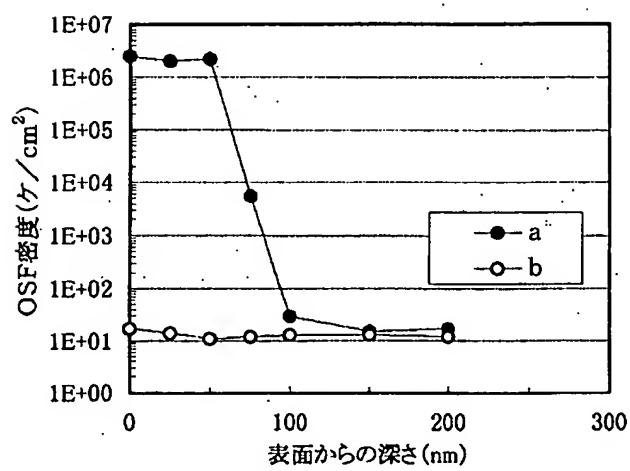
【図6】



【図2】

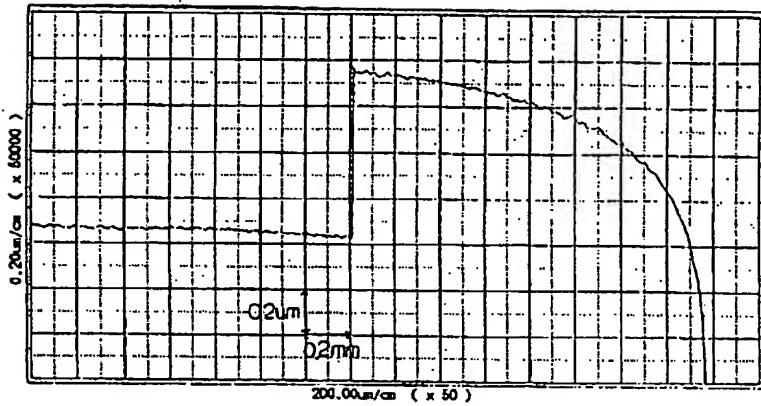


【図5】

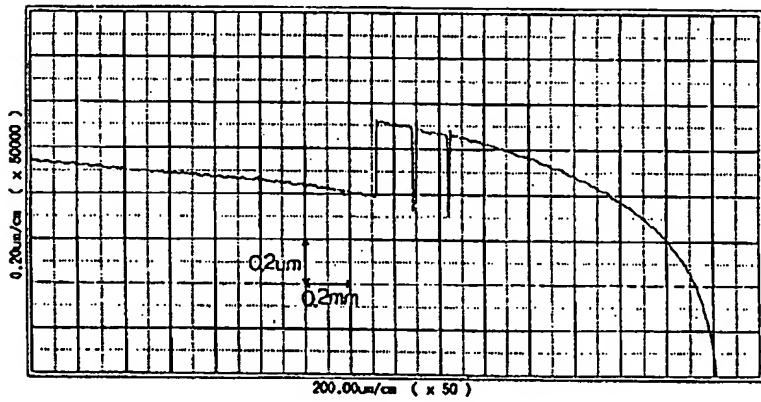


【図3】

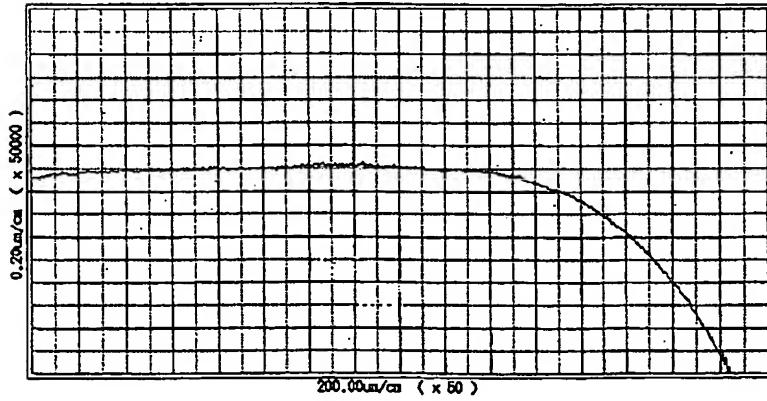
( A )



( B )



( C )



フロントページの続き

(72)発明者 阿賀 浩司  
群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半  
導体株式会社半導体磯部研究所内

(72)発明者 和田 正衛  
長野県更埴市大字屋代1393番地 長野電子  
工業株式会社内